

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560409

研究課題名(和文)低コストレーダーシステムに適した簡易発振器アレーの研究

研究課題名(英文)A Study of Oscillator Array with Simple Structure for Low Cost Radar Systems

研究代表者

田中 高行(Tanaka, Takayuki)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・講師

研究者番号：60207107

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、レーダーに必要なビームステアリング技術を、簡易な構成で高性能・低コストで実現できるPush-Push 発振器アレーについて検討した。反射型Push-Push 発振器と相互同期型結合回路(副発振器間に接続)、反射型Push-Push発振器と相互同期・注入同期型結合回路(共振器間に接続)、正帰還型Push-Push発振器と注入同期型結合回路(帰還ループ間に接続)、3つの構成について検討を行った。いずれの場合も、Push-Push原理により、結合回路における制御信号の移相量の2倍以上の出力信号移相量を得ることができ、小型簡易な構成の回路で広範囲のビームステアリングの実現が可能になった。

研究成果の概要(英文)：In this thesis, low cost and high performance Push-Push oscillator arrays with simple circuit structure are studied. The following 3 types oscillator arrays are investigated, an oscillator array consists of reflection type Push-Push oscillators and a mutual coupling type coupling circuit, which is connected between the sub-oscillators in the Push-Push oscillators, an oscillator array consists of reflection type Push-Push oscillators and a injection locking type coupling circuit, which is connected between the resonator in the Push-Push oscillators, an oscillator array consists of positive feedback type Push-Push oscillators and a injection locking type coupling circuit, which is connected between the feedback loops in the Push-Push oscillators. It is possible that very wide range beam steering is achieved because the phase shift of the output signals is twice as large as compared with the phase shift of the signal in the coupling circuit due to the Push-Push principle.

研究分野：電気電子工学・電子デバイス工学

キーワード：発振器アレー 結合回路 マイクロ波 高調波 移相器 ビームステアリング レーダ Push-Push発振器

## 1. 研究開始当初の背景

レーダーでは、電波の放射方向を連続的に高速で変化させるビームステアリング技術が不可欠である。従来、主に軍用レーダーとして用いられるフェイズドアレーが用いられてきたが、大型の移相器を多数必要とするので大型で高価なものとなっており、ITS(高度交通システム)等の民生分野での使用には不向きであった。そこで、回路の小型化、低コスト化が課題となっていた。これを解決する技術の一つとして、構成が簡易で安価な発振器アレーが開発された。

## 2. 研究の目的

本課題では、この発振器アレーをより低コストで実現することを目的として、これまで申請者らが研究をすすめてきた安価なデバイスで高い周波数の信号を発生できるPush-Push 発振器を用いた Push-Push 発振器アレーの研究を行うものである。ここでは、Push-Push 発振器の特徴を活かし、広範囲のビームステアリングを行うための広範囲の出力位相制御を可能とした回路構成技術の確立を目指している。

## 3. 研究の方法

Push-Push 発振器アレーに用いる Push-Push 発振器としては、反射型、帰還型 2 種類の構成を用いる。アレーを構成する発振器の同期および出力信号の位相差の制御には移相量可変結合回路回路が必要であるが、使用する発振器の特徴に合わせて、全体構成および移相量可変結合回路の構成・特性について検討する。今回、以下の 3 つの構成について検討する。

(1)反射型 Push-Push 発振器の負性抵抗回路の端子に移相量可変結合回路を接続した構成

使用する Push-Push 発振器に用いる負性抵抗回路の HEMT のドレイン端子間に反射型移相量可変結合回路を接続する。結合回路の端子において、反射位相に差をつけ、制御電圧でその位相差に可変性を持たせ、出力位

相差の制御を行う。

(2)反射型 Push-Push 発振器の共振器を移相量可変結合回路を用いて接続した構成

使用する移相量可変結合回路では、同期信号についてバッファアンプで方向性を持たせ、移相回路により移相を行い、一つの発振器から隣接する発振器に注入し、出力位相差の制御を行う。また、HEMT を用いた簡易な構成の移相量可変結合回路を用いた場合について、HEMT のバイアス電圧で出力位相差の制御を行う。

(3)帰還型 Push-Push 発振器の帰還ループ間に移相量可変結合回路を用いた構成

一つの発振器の帰還ループの信号を同期信号として方向性結合器で取り出し、その信号について方向性を持たせ、移相回路により移相を行い、隣接する発振器の帰還ループに注入することで、出力位相差の制御を行う。

また、(1)~(3)で得られた発振器アレーにアンテナを接続し、指向性について検討する。

## 4. 研究成果

ITS(高度交通システム)等に必要とされるレーダーでは、電波の放射方向を連続的に高速で変化させるビームステアリング技術が不可欠である。本課題では、従来の発振器アレーに対してより簡易な構成で、高性能・低コストで実現できるPush-Push 発振器アレーについて検討を行った。Push-Push 発振器は 2 次高調波を出力とするので、低価格で高性能の低周波数用デバイスを用いることができ低コストの回路となる。また、結合回路で得られた基本波の移相量に対し出力信号の移相量は 2 倍となり、広範囲のビームステアリングを低コストで行うことができる。

以下図 1 の 3 つの回路構成について研究した成果をまとめる。

(1)反射型 Push-Push 発振器の負性抵抗回路の端子に移相量可変結合回路を接続した構成。

非対称の構成とし、端子によって反射特性が異なる移相量可変結合回路を考案した。そ

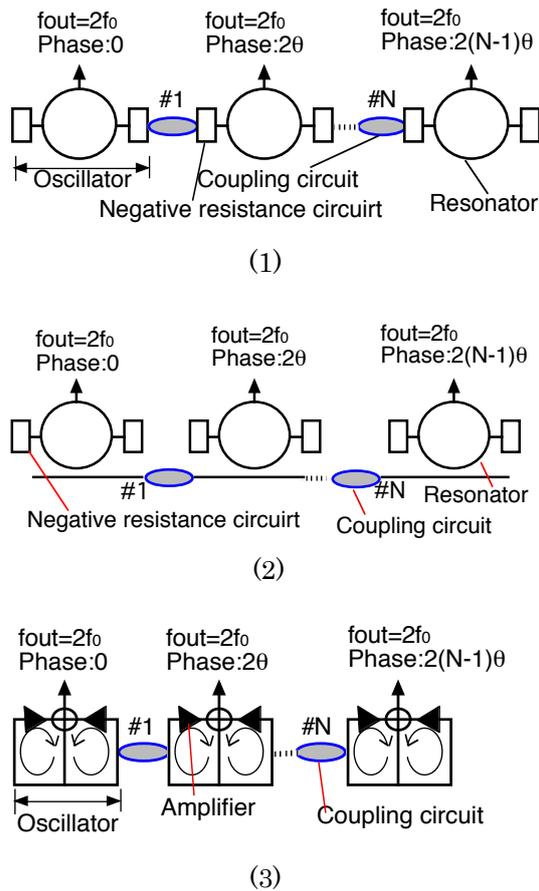


図1 Push-Push 発振器アレーの構成

の結合回路をPush-Push発振器に用いる負性抵抗回路のHEMTのドレイン端子間に接続した。結合回路の両端子での反射位相に差をつけ、各発振器の負性抵抗回路のドレイン端子の信号の位相差を制御し、それにより出力位相差の制御を電氣的に行った。その結果、 $300^\circ$  を超える極めて広範囲な出力信号の位相の可変化を確認した。図2に、その制御電圧の変化に対する出力位相差の結果を示す。

従来の発振器アレーでは主に注入同期を用いた方法が用いられていたのに対し、反射波を用いた相互同期により出力位相の制御を行った。結合回路の片方の端子についてのみ共振周波数付近で動作させることにより、極めて広範囲に出力信号の位相差を変化させることができた。研究成果を査読付き学術論文に投稿し採録された。

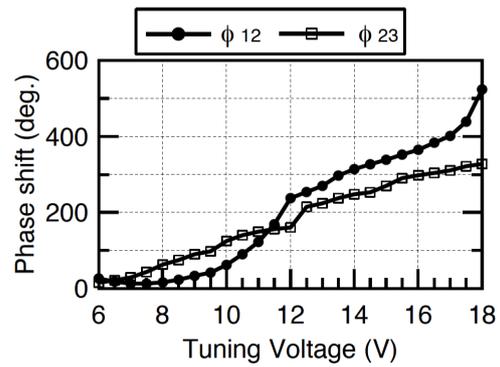


図2 構成 (1) による出力位相の変化(3素子)

(2) 反射型 Push-Push 発振器の共振器を移相量可変結合回路を用いて接続した構成。

ブランチラインカップラを用いた移相回路にバッファアンプを接続することで信号に方向性を持たせた移相量可変結合回路を考案した。一つの発振器の共振器から取り出した信号を、その結合回路を介して隣接する発振器に注入している。注入信号の位相を結合回路によって制御することで、出力位相差の制御を行う。結果として $180^\circ$  を超える大幅な出力信号の位相の可変化を確認した。(1)の構成に比べて出力位相差の可変範囲は狭いが、各発振器の出力が安定している特徴がある。研究成果を査読付き学術論文に投稿し採録された。

また、HEMT一つとカップリング用のコンデンサのみで構成される非常に簡易な構成の移相量可変結合回路を考案した。(1)で検討したように、発振器からの信号の反射波の位相差によって出力位相差を制御する、相互同期型の構成となっている。これを反射型Push-Push発振器の共振器間に用いた構成について検討した。その結果、当初、出力位相差の可変範囲は $90^\circ$  程度であった。そこで、結合回路の片方の端子についてのみ共振周波数付近で動作し、また通過特性を向上させて注入同期の効果を加えた構成とした。その結果、 $200^\circ$  を超える大幅な出力信号の位相差の可変化を確認した。図3に、その制御電圧の変化に対する出力位相差の結果を示す。

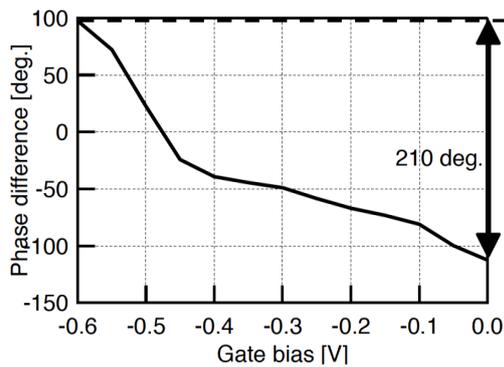


図3 構成 (2) の簡易な結合回路を用いた場合の出力位相の変化 (2素子)

発振器アレーでは結合回路の占める部分が大きいので、この構成は回路の小型化に極めて有効である。最初の研究結果を国際学会で発表し、さらに改良型を国際学会に投稿し採録された。

(3) 帰還型 Push-Push 発振器の帰還ループ間に移相量可変結合回路を用いた構成。

ロンデカプラを用いた移相回路にロンデカプラを用いた方向性結合器を接続することで注入信号に方向性を持たせた移相量可変結合回路を考案した。一つの発振器の帰還ループの信号を方向性結合器で取り出し、移相回路により信号の移相を行い、隣接する発振器に注入する。その注入信号の位相を結合回路によって制御することで、出力位相差の制御を行う。結果として $130^\circ$  を超える出力信号の位相差の可変性を確認した。図4に、その制御電圧の変化に対する出力位相差の結果を示す。

(1)(2)の構成で得られた出力位相差の範囲と比べるとやや劣っているが、方向性結合器は帰還ループの一部となっており、ロンデカプラの端子の配置と帰還ループの信号の方向性が合っているため、非常にコンパクトな構成となっている。また、帰還型発振器はその構成上発振周波数の可変性が容易である。そのため、FMCW (Frequency-Modulated Continuous-Wave) 方式への応用が期待される。研究成果を国際学会で発表した。

これまで検討を行った Push-Push 発振器

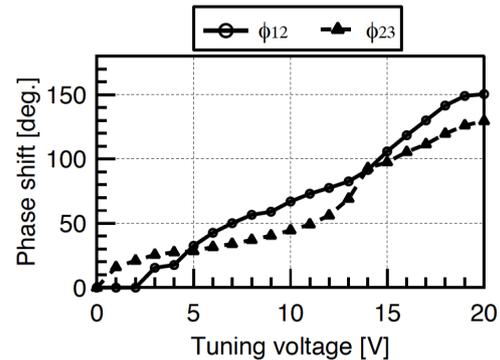


図4 構成(3)による出力位相の変化 (3素子)

アレーにアンテナを接続した場合について指向性の検討を行ったが、想定したような指向性の制御は確認できなかった。測定方法も含め検討の余地がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

① Takayuki Tanaka, Kengo Kawasaki, Masayoshi Aikawa and Ichihiko Toyoda, A Push-Push Oscillator Array Using Resonator Type Coupling Circuits, Progress In Electromagnetics Research C, 査読有, Vol. 54, 2014, pp.85-94. Doi:10.2528/PIERC14090901

② Kengo Kawasaki, Takayuki Tanaka, and Masayoshi Aikawa, A Sequential Injection Locked Coupled Push-Push Oscillator Array Using Unilateral Coupling Circuit, IEICE Trans. Electron. , 査読有, Vol. E95-C, No. 9, 2012, pp.1535-1542.

[http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e95-c\\_9\\_1535&category=C&lang=E&year=2012](http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e95-c_9_1535&category=C&lang=E&year=2012)

[学会発表] (計14件)

① Takayuki Tanaka, Takeru Sameshima, and Ichihiko Toyoda, A Push-Push Oscillator Array with Very Simple Coupling Circuits Using HEMT, 45th European Microwave Conference (EuMC2015), September 8, 2015, Paris, France.

(発表予定)

② 鮫島武瑠, 田中高行, 豊田一彦, 簡易な

結合回路を用いた Push-Push 発振器アレーにおける注入同期の検討, 電子情報通信学会マイクロ波研究会, 平成 26 年 11 月 20 日, 長崎大学, 長崎県長崎市.

③ Takeru Sameshima, Takayuki Tanaka, and Ichihiko Toyoda, A Mutual Phase Synchronization Type Push-Push Oscillator Array Using Simple Coupling Circuit, 2014 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2014), November 7, 2014, Sendai International Center, Sendai, Miyagi, Japan.

④ Takeru Sameshima, Takayuki Tanaka, Ichihiko Toyoda, A Study of Push-Push Oscillator Arrays Integrating A Reflection Type and A Transmission Type Simple Coupling Circuit, 電気・情報関係学会九州支部連合大会 (International session), 平成26年9月18日, 鹿児島大学, 鹿児島県鹿児島市.

⑤ Takayuki Tanaka, Takeru Sameshima, Masayoshi Aikawa and Ichihiko Toyoda, An Oscillator Array Using Push-Push Oscillators and Very Simple Coupling Circuits, 16th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM 2014), July 14, 2014, Victoria, Canada.

⑥ Takayuki Tanaka, and Ichihiko Toyoda, An Oscillator Array Using Positive Feedback Type Push-Push Oscillators and Directional Phase Shifters, 16th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM 2014), July 14, 2014, Victoria, Canada.

⑦ 鮫島武瑠, 田中高行, 豊田一彦, 磁界結合による簡易な結合回路を用いた相互同期型 Push-Push 発振器アレーの提案, 電子情報通信学会総合大会, 平成 26 年 3 月 19 日, 新潟大学, 新潟県新潟市.

⑧ 田中高行, 鮫島武瑠, 相川正義, 豊田一彦, 簡易な回路構成の結合回路を用いた Push-Push 発振器アレー, 電子情報通信学会

マイクロ波研究会, 平成 25 年 11 月 21 日, 鹿児島県文化センター, 鹿児島県鹿児島市.

⑨ Takayuki Tanaka, Kenta Takata, Masayoshi Aikawa and Ichihiko Toyoda, A Ku Band Oscillator Array Using Positive Feedback Type Push-Push Oscillators, 2012 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2012), December 7, 2012, Kaohsiung, Taiwan.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 高行 (TANAKA Takayuki)

佐賀大学・大学院工学系研究科・講師

研究者番号: 6 0 2 0 7 1 0 7

### (2) 研究分担者

豊田 一彦 (TOYODA Ichihiko)

佐賀大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号: 8 0 6 1 2 6 6 3

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: